

氮肥行业氨氮工程减排技术评估方法研究与应用

骆其金, 谌建宇, 王振兴, 庞志华, 叶万生

(环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

[摘要] 根据国家“十二五”氨氮总量控制和典型行业氨氮减排的技术需求, 本文选择氮肥工业作为典型, 研究共性的工程减排技术决策方法。针对目前国内环境技术评估以定性判断为主, 缺乏可操作性强的综合评估方法的状况, 提出了以费用效益分析为核心, 层次分析+灰色关联度为次重因素的综合评估新方法, 确定了该评估方法的数学模型和过程算法, 并结合实例进行分析计算和验证。

[关键词] 氨氮; 总量控制; 综合评估

[中图分类号] X13; TQ441 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)08-0088-05

1 前言

“十二五”国民经济和社会发展规划纲要明确提出氨氮减排10%的目标。废水氨氮排放标准势必日益严格, 企业如何优化选择废水氨氮达标处理技术, 完成分配的减排指标, 是氨氮排放重点行业企业亟待解决的难题, 因此, 急需建立基于氨氮减排需要的工业废水处理技术系统评估与决策的方法。

氮肥工业是我国重要的工业行业, 同时也是氨氮排放量最大的工业行业之一, 据《2010环境统计年报》及《氮肥行业“十二五”发展规划》, 2010年我国氮肥行业氨氮排放量约为 6.96×10^4 t, 约占全国工业氨氮排放量的25.5%。目前国内外研究多集中在氮肥行业末端工程治理技术本身的效果, 尚未发现关于氮肥工业基于氨氮减排的末端工程减排技术的评估研究。氮肥工业氨氮减排最佳末端工程减排技术评估能够为我国氮肥工业和环境保护部门选择氨氮减排技术和工艺方法提供重要依据, 有

利于促进氨氮减排目标的完成。

我国主要应用效益分析法^[1,2]和专家评价法来评估环境技术, 以定性判断为主, 缺乏综合评估方法。但随着决策科学的发展, 一些综合数值化方法, 如层次分析法(AHP)^[3]、模糊综合评价法^[4]、灰色综合评判法^[5]等也逐步应用于环境技术评估。

本文根据氮肥行业废水末端工程处理技术的特点, 建立了以费用效益分析为核心, 层次分析+灰色关联度为次重因素评估方法的综合评估方法, 可为氮肥企业氨氮减排技术的选择提供技术支持。

2 氨氮总量控制最佳末端工程减排技术评估方法的确定

2.1 减排技术评估框架的确定

目前国内污染防治技术评估指标体系主要考虑3个方面: 技术性能、经济效益、环境效益。

根据工程减排技术的共性特点, 采用“费用效益法”可作为技术评估筛选的“门槛性”核心方法。“费用效益法”是指通过权衡效益与费用来评价项

[收稿日期] 2013-11-08

[基金项目] 环保公益性行业科研专项(201009012)

[作者简介] 骆其金, 1981年出生, 男, 湖南郴州市人, 工程师, 主要研究方向为水污染治理与控制; E-mail: luojijin@scies.org

目方案可行性的一种分析方法,能较全面地评价项目技术经济可行性,实用性强,其中方案费用成本和效益的计算是费用效益分析的关键。就工程减排技术而言,该方法的费用包括直接投资、设备维护费用、运行成本、药剂费、管理费用等,效益包括节约系统可能的资源回收效益、减少排污费、增加环境效益等,费用效益分析能基本全面覆盖环境效益、经济效益、技术性能。

为补充与加强技术性能方面外的其他因素对项目技术决策的影响,在核心评估之后,本文进行了次重因素辅助评估,以免技术评估的偏差与误判,采用层次分析+灰色关联度的评估方法,建立指标体系(包括技术性能及其他因素指标),最后将核心评估和次重因素评估结果进行归一化,得到定量的综合评估结果,用于项目决策,其评估流程如图1所示。

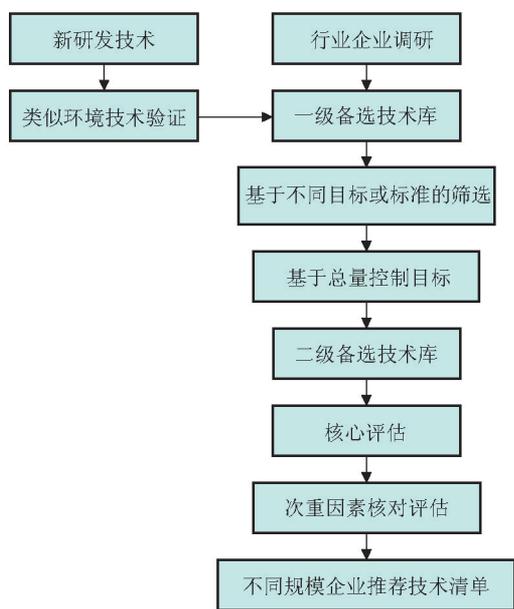


图1 氨氮总量控制减排技术评估流程

Fig. 1 The emission reduction of ammonia best available technologies (BAT) assessment route

2.2 综合评估方法的建立

2.2.1 核心评估

由于评估对象均以排水稳定达标、氨氮减排为目的,其效益主要体现在减排费用的减和环境生态效益,为简化,可以假定认为不同技术(评估对象)产生的效益基本相同,因此,可直接比较费用年值法计算,然后将费用年值转化为标准分值,计算

方法如下。

2.2.1.1 费用年值计算

$$AC = \sum_{i=0}^n [(I + C' - S_v - W)l(P/F, i, t)] \times (A/P, i, n) \quad (1)$$

式(1)中, AC 为年费用; I 为投资额; C' 为年经营成本; S_v 为期末回收固定资产余值; W 为期末回收的流动资金; $(P/F, i, t)$ 为一次支付现值系数; $(A/P, i, n)$ 为资金回收系数。

2.2.1.2 评估结果标准化

为方便综合评估分析,对核心评估结果进行标准化。

$$S = \frac{AC_{\min}}{AC_x} \quad (2)$$

式(2)中, S 为评分值; AC_{\min} 为最小年费用; AC_x 为 x 技术的年费用。

2.2.2 次重因素评估

2.2.2.1 指标体系构建

由于某些因素在特定条件下可能对项目决策产生重大影响,根据氮肥工业废水处理工艺的特点,增加与核心评估互补的指标体系十分必要,次重因素评估指标体系如图2所示,包括限制性指标:占地面积;技术指标:技术先进性、技术可靠性、升级改造潜力;运行管理指标:维护难易度、环境卫生与安全。

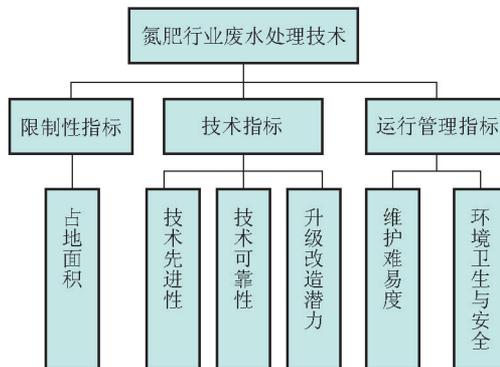


图2 次重因素评估指标体系

Fig. 2 The emission reduction of ammonia BAT evaluation index system (non-key factors)

2.2.2.2 指标权重计算

指标权重的准确与否在很大程度上影响评价指标体系的准确性和科学性。本文采用层次分析法依据判断矩阵定量计算出准则层和方案层中各因素的相对权重^[6],其权重记为 W , $W=(W_1, W_2,$

W_3, \dots, W_k 。

2.2.2.3 参考数列与比较数列的选定

通常,选用诸方案中的最优值(若某一指标取大值为好,则取该指标在各方案中的最大值;若取小值为好,则取各方案中的最小值)作为关联分析的参考数列^[7],记为 X_0 , $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(m)\}$ 。将决定、影响被评判事物性质的各子因素数据的有序排列作为关联分析的比较数列^[8],记为 $X_i(k)$, $X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(m)\}$, ($i=1, 2, \dots, n$)。

2.2.2.4 评估计算方法

1)数值标准化。根据确定的理想方案,对某一具体的指标的实际数值进行标准化无因次处理。考虑到正向指标与逆向指标的差别,对各项评价指标的实际数值根据其类别和不同情况分别进行标准化处理。

对正向指标,按式(3)计算

$$x_i(k) = \frac{S_{xi}}{S_{oi}} \quad (3)$$

对逆向指标,按式(4)计算

$$x_i(k) = \frac{S_{oi}}{S_{xi}} \quad (4)$$

式(4)中, $x_i(k)$ 为第 i 项评价指标的单项标准化评价指标; S_{xi} 为第 i 项评价指标的实际值; S_{oi} 为第 i 项评价指标的参考数列值。

2)关联度系数计算。关联度系数计算公式为

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (5)$$

式(5)中, $\xi_i(k)$ 为第 i 个方案第 k 个指标与第 k 个最优指标的关联系数; $\xi \in [0, 1]$, 一般取 $\xi = 0.5$ 。

3)综合关联度计算。综合关联度计算公式为

$$r_i = \sum_{k=1}^n W_k \times \xi_i(k) \quad (6)$$

式(6)中, r_i 为第 i 个参比方案对理想方案的灰色加权关联度; W_k 为第 k 个评价指标对应的权重。

2.2.3 综合评估分析

得出核心评估和次重因素评估结果后,采用下列公式对两重评估结果进行综合分析。

$$R_x = S_x \times w_{核} + r_x \times w_{次} \times 100 \quad (7)$$

式(7)中, R_x 为 x 技术的综合评分; r_x 为 x 技术的综合关联度; S_x 为 x 技术的核心评估评分; $w_{次}$ 为次重因素评估权重(一般取 0.2); $w_{核}$ 为核心评估权重(一般取

0.8)。

根据综合评估分析计算结果,达到较好以上水平($R \geq 80$)的参选技术即定为最佳可行技术,而达到一般水平($80 \geq R \geq 70$)的参选技术为可行技术,其他技术为一般技术。

3 确定备选技术

设计了氮肥企业调研表格,通过函调文献调研和实地调研等途径获取技术参数,通过对大量调研数据进行处理筛选,在基于氨氮总量控制减排目标的基础上,最终获得 6 种典型的氮肥企业末端工程减排技术及其参数(理论计算及实际调研综合整理得出),如表 1 所示。

表 1 工程投资及运行费用

Table 1 Project investment and operation cost

工艺技术	总投资/万元	运行费用/(万元·年 ⁻¹)
SBR	1 067.04	477.40
BAF	1 681.71	624.46
A/O	979.13	431.61
A ² /O ²	1 437.51	517.93
AOMBR	1 364.96	437.31
ABFT	1 519.42	511.41

注:SBR:序批式活性污泥法;BAF:曝气生物滤池;A/O:厌氧好氧工艺;A²/O²:两级厌氧好氧工艺;AOMBR:缺氧好氧膜生物反应器;ABFT:曝气生物流化床

4 最佳末端工程减排技术评估

4.1 核心评估计算

根据核心评估计算公式(式(1)和式(2)),核心评估结果如表 2 所示(基准收益率 i 为 10%,工程寿命为 20 年)。

表 2 核心评估结果

Table 2 Evaluation results table of the key assessment

工艺技术	费用年值(AC)	标准分(S)
SBR	602.73	90.69
BAF	821.99	66.50
A/O	546.62	100.00
A ² /O ²	686.78	79.59
AOMBR	597.64	91.46
ABFT	689.88	79.23

4.2 次重因素评估计算

4.2.1 各技术评估指标参数

向全国 20 位氮肥行业废水治理方面专家发放

了评估指标评分表,回收到的有效评分表14份。根据专家的评分,利用指标权重计算方法计算出每位专家对各技术的指标评分。由于选取的专家理论知识和实际经验均比较丰富,因此,假定所有专家

在评分时具有相同的重要性,即专家权重相同。利用算术加权法将各位专家赋予的指标评分进行综合,求解出指标相对于目标的最终评分。专家评分均值如表3所示。

表3 专家评分均值

Table 3 The mean value of expert grading

工艺技术	占地面积	技术先进性	技术可靠性	升级改造潜力	维护难易度	环境卫生与安全
SBR	75.59	75.59	76.76	76.18	76.47	76.18
BAF	85.00	80.59	74.12	72.94	71.18	80.29
A/O	68.82	65.88	80.29	78.82	83.53	74.41
A ² /O ²	60.29	70.88	83.24	79.41	80.29	71.47
AOMBR	79.71	85.59	76.18	73.82	65.29	80.59
ABFT	80.59	80.88	72.65	71.47	71.18	79.71

4.2.2 权重计算

向全国20位氮肥行业废水治理方面专家发放了构造判断矩阵调研表,回收到的有效调研表14份。根据专家构造的判断矩阵,利用指标权重计算方法计算出每位专家赋予的指标权重。由于选取的专家理论知识和实际经验均比较丰富,因此,假定所有专家在构造判断矩阵时具有相同的重要性,即专家权重相同。利用算术加权法将各位专家赋予的指标权重进行综合,求解出指标相对于目标的最终权重 W 。指标相对于总目标权重如表4所示。

表4 评估指标权重均值

Table 4 The mean value of index weight

指标	权重
占地面积	0.168 2
技术先进性	0.172 0
技术可靠性	0.336 0
升级改造潜力	0.122 4
维护难易度	0.102 3
环境卫生与安全	0.099 0

4.2.3 技术评估

将评分和权重数据代入次重因素评估公式(式(3)~式(6))中,次重因素评估结果见表5。

表5 次重因素评估结果

Table 5 Evaluation results table of the non-key factors assessment

评价指标	综合关联度 r
SBR	0.642
BAF	0.708
A/O	0.693
A ² /O ²	0.730
AOMBR	0.724
ABFT	0.643

4.3 综合评估

根据综合评估计算公式(式(7)),各技术综合评估结果见表6。

表6 综合评估结果

Table 6 Evaluation results table of the comprehensive assessment

技术	核心评估	次重因素评估	综合评估
SBR	90.69	0.642	85.39
BAF	66.50	0.708	67.36
A/O	100	0.693	93.86
A ² /O ²	79.59	0.730	78.27
AOMBR	91.46	0.724	87.65
ABFT	79.23	0.643	76.24

根据综合评估分析计算结果,SBR、A/O、AOMBR达到较好以上水平($R \geq 80$)为最佳可行技术,而A²/O²、ABFT达到一般水平($80 \geq R \geq 70$)为可行技术,BAF为一般技术。

5 结语

“十二五”氨氮总量控制目标的确定,对基于氨氮减排的废水处理技术的选择势必成为氮肥工业的难题。该综合评估方法根据氮肥工业末端工程减排技术的实际特点及“十二五”氨氮总量减排要求,提出实际可行的技术评估流程,既对核心因素进行评估,也对次重因素进行评估,最终进行综合评估。从而得到一个既定量化又较符合实际的评估结果。氮肥行业氨氮减排最佳末端工程减排技术筛选评估从一定程度上改善了氮肥行业在氨氮减排过程中无好技术可用,有好技术不用的困局。

参考文献

- [1] Hanley N, Spash C L. Cost-benefit analysis and the environment [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 1993.
- [2] 王 蕾,刘 婷.用交叉列表评价法解决企业技术经济效益评价问题[J].技术经济,2006,25(10):36-38.
- [3] 李 恺.层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J].环境科学与技术,2009,32(2):183-185.
- [4] 张秀兰.基于模糊综合评判法的研究及应用[J].科技信息,2008(14):423-424.
- [5] 刘方贵,夏岑岭.灰色综合评判法在城市防洪规划方案选择中的应用[J].山东水利,2001(2):32-33.
- [6] 杜 栋,庞庆华,吴 炎.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2008:111-138.
- [7] 田云丽.基于模糊综合方法的工业污水环境安全影响评价研究[J].中国安全科学学报,2007,17(9):109-112.
- [8] 赵玲萍,张凤娥,董良飞,等.灰色模糊综合评价法在中水工程中的应用[J].节水灌溉,2009(4):40-45.

Technology assessment of best available technology for emission reduction of ammonia in nitrogen fertilizer industry

Luo Qijin, Chen Jianyu, Wang Zhenxing, Pang Zhihua, Ye Wansheng

(South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection of the people's Republic of China, Guangzhou 510655, China)

[Abstract] According to the technical demands for the ammonia total amount control and reduction for the typical industries in “12th five-year plan” periods. It's necessary to establish the systematic method of decision making for best available technology (BAT) focused on the ammonia reduction. Taking nitrogen fertilizer as a typical industry, considering improving the traditional method which is subjective, qualitative, and difficult for application, a new comprehensive method was developed. It takes the cost-benefit analysis as the key step, and refers to analytic hierarchy process (AHP) with grey relational degree method. In this paper, the mathematical model, calculation, and verification process was analyzed with a case study.

[Key words] ammonia; total amount control; comprehensive evaluation